

# **AVOIN TUTKIMUS OPETUSMENETELMÄNÄ: ALAKOULULAISET VS. VIRTAPIIRI**

*Teemu Heikkinen*

Pro gradu -tutkielma  
Marraskuu 2015  
Fysiikan ja matematiikan laitos  
Itä-Suomen yliopisto

Teemu Heikkinen	Fysiikan pro gradu -tutkielma, 43 sivua
	Itä-Suomen yliopisto
	Fysiikan koulutusohjelma
	Fysiikan aineenopettajakoulutus
Työn ohjaajat	FT Mervi Asikainen
	FT Pekka Hirvonen

## Tiivistelmä

Peruskoulun neljännelle luokalle suoritettiin opetuskokeilu, jonka tarkoituksena oli rakentaa yksinkertainen virtapiiri avoimen tutkimuksen menetelmällä. Opetuskokeilu jaettiin kolmeen osaan: ensimmäisessä osassa oppilaat kävivät läpi omia ennakkokäsityksiä aiheesta, toisessa osassa oppilaat suorittivat kokeellisen työn ja viimeisessä osassa oppilaat tekivät loppupäätelmät kokeellisen työn antamista tuloksista ja havainnoista. Opetuskokeilun aikana tehdyt muistiinpanot kerättiin oppilailta ja analysoitiin sisällönanalyysimenetelmällä. Vaikka opetuskokeilu itsessään ei onnistunut niin kuin oli suunniteltu, tulokset olivat rikastuttavia. Oppilaiden vastauksissa oli vahvasti esillä heidän arkikäsityksensä ilmiöistä ja välineistä. Tämän lisäksi vastauksissa paljastui oppilaiden virhekäsitykset liittyen yksinkertaisiin virtapiireihin. Tulokset tarjosivat myös parannusehdotuksia avoimen tutkimuksen suunnitteluun ja toteuttamiseen opetuksessa.

## Esipuhe

Tämän tutkielman tarkoitus on muuttunut prosessin aikana paljon, mutta loppujen lopuksi se päättyi hyvin lähelle sitä mitä pitikin. Kaikki kuitenkin alkoi havainnosta, että monen koulun resurssit ovat hyvin vähäiset, eikä kaikilla ole varaa hankkia tarvittavia opetusvälineitä. Fysiikan opettajaksi valmistautuvana pidän tärkeänä konkreettisten kokeiden suorittamista, ja siksi tämä asia koskettaa minua. Siitä syntyi ajatus lähteä rakentamaan opetuspakettia, joka ei vaadi suuria resursseja. Aluksi muodostui keskeneräinen prototyyppipaketti, jota oli tarkoitus kokeilla eräällä Joensuun alakoululla. Opetuskokeilun jälkeen tuntui siltä, että se epäonnistui täydellisesti eikä siitä ollut mitään hyötyä. Mutta kiitos ohjaajilleni Pekka Hirvoselle ja Mervi Asikaiselle, jotka saivat minut tajuamaan opetuskokeilun tulosten merkityksen. Opetuspaketti jäi unholaan, mutta huomasin kuitenkin että tulosten perusteella voitiin myös kehittää opetuskokeilua entistä paremmaksi. Nyt tutkielmani keskittyy analysoimaan opetuskokeilun tuloksia. Jää kuitenkin nähtäväksi, onko näistä kehitysideoista hyötyä. Haluan vielä kerran kiittää ohjaajiani tuesta, mutta erityisesti Mervi Asikaista, joka piti tutkielmani vauhdissa.

Joensuussa 3.11.2015

*Teemu Heikkinen*

<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>Teoria</b>	<b>3</b>
2.1 Sähköoppi alakoulun opetussuunnitelmassa	3
2.2 Tutkiva oppiminen	4
2.2.1 Avoin tutkimus	6
2.3 Sähköoppi	11
2.3.1 Käsitteet	11
2.3.2 Arkikäsitteistä virhekkäsitteisiin	16
<b>Metodit</b>	<b>21</b>
3.1 Opetuskokeiluun osallistuva ryhmä	21
3.2 Interventio	21
3.3 Aineiston kerääminen ja analyysi	23
<b>Tulokset</b>	<b>24</b>
4.1 Tarkastelu	24
4.2 Analyysit	30
<b>Pohdintaa</b>	<b>36</b>
5.1 Virheiden paikantaminen ja virheistä oppiminen	36
5.2 Onko avoimen tutkimuksen menetelmä menetetty tapaus?	38
5.3 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi	39
5.4 Kuinka tutkimusta voitaisiin jatkaa?	40



Luonnontieteiden opettaminen alakoulussa painottuu hyvin paljon konkreettisiin kokeiluihin ja niiden aikana tehtyihin havaintoihin. Perusopetuksen opetussuunnitelman, eli POPSin, perusteet (2004) korostavat tätä ja pyrkivät asettamaan tien oppilaille kohti tutkivaa työskentelyä ja ongelmanratkaisutaitoja. Kansallinen tutkimusneuvosto (NRC) määrittelee tieteellisen tutkimuksen monipuoliseksi tavaksi tukia luontoa ja selittää niiden ilmiöitä. Prosessi itsessään on hyvin opintorikas ja tarjoaa paljon sitä käyttäville oppilaille. Tämä kuitenkin edellyttää kouluilta resursseja eli aikaa ja rahaa. Tutkimusten suunnittelu ja toteuttaminen vievät opettajilta paljon aikaa, mutta se palkitsee oppilaita monipuolisesti. On siis hyvä pohtia sitä, onko laadullinen opetus parempi kuin määrällinen.

Ennen kuin lapset aloittavat koulun, he ovat vauvaiästä saakka jatkuvasti keränneet tietoa heitä ympäröivästä maailmasta. Havainnot ja kokemukset luovat lapselle omia tulkintoja ilmiöistä kuten sähköstä. Sähkö on nykyään hyvin arkista ja lähes välttämätöntä, ja hyvin todennäköisesti lapsille muodostuu ennen koulun aloittamista jokin arkikäsite siitä. Tällaiset arkikäsitteet luovat tietopohjan, jonka päälle lapset lähtevät rakentamaan omaa tietämystään tai vaihtoehtoisesti he muokkaavat sitä, mikäli he havaitsevat sen virheelliseksi tai ristiriitaiseksi. Tällaisen virhekäsitteen havaitseminen voi tapahtua itsestään tai siihen saatetaan tarvita ulkopuolista apua. Ulkopuoliset eivät voi kuitenkaan nähdä lapsen pään sisälle, vaan lapsen tulee itse jollain tavalla tuoda esille omat tulkintansa, jotta asialle voidaan tehdä jotain. Tutkielmassa esitetyssä avoin tutkimus -opetuskokeilussa tulivat ilmi niin oppilaiden arkikäsitteet kuin heidän virhekäsitteensäkin.

Avoin tutkimus (open inquiry) on osa tutkivaa oppimista (inquiry-based learning). Hakkarainen, Lonka ja Lipponen (2000) määrittelevät tutkivan oppimisen menetelmäksi, jossa oppilaat pyrkivät ratkaisemaan ongelman tutkimalla sitä tieteellisesti ja jakamalla saatuja tietoja muiden kanssa. Avoin tutkimus on vapaa tutkimusmenetelmä, jonka Hackling (2005) määrittelee oppilaskeskeiseksi ongelmanratkaisututkimukseksi, jonka avoimuus riippuu siitä mitä oppilaille annetaan – tai ollaan antamatta – ennen tutkimusta. Hegarty-Hazel (1986) on asettanut avoimelle tutkimukselle avoimuustasot, jotka riippuvat siitä, miten paljon oppilaille on valmiiksi annettu tietoa tutkimukseen liittyen. Avoimen tutkimuksen menetelmässä on havaittu etuja, mutta myös huonoja puolia. Staer, Goodrum ja Hackling (1998) huomasivat sen edesauttavan oppilaiden oppimista hyvin paljon, mutta opettajille avoin tutkimus tuotti enemmän haittaa kuin hyötyä. Nivalainen, Asikainen ja Hirvonen (2013) havaitsivat sen parantavan opettajaharjoittelijoiden fysiikan ymmärrystä ja auttoi heitä ymmärtämään kokeellisen työskentelyn merkityksen.

Tässä tutkielmassa tutkitaan, kuinka avoin tutkimus soveltuu alakoulun opetusmenetelmänä ja miten sitä voitaisiin kehittää alakouluun soveltuvammaksi. Avoimen tutkimuksen opetuskokeiluun osallistuneet oppilaat tutkivat yksinkertaisen virtapiirin rakentamista. Sen lisäksi tutkitaan, kuinka oppilaiden suorittama tutkimus onnistuu, kun opetuskokeilun välineiksi annetaan tavallisesti käytettyjen välineiden sijaan yksinkertaiset ja arkiset välineet. Alakoulun opetus antaa pohjan tulevalle fysiikan opetukselle, kuten arkikäsitykset ennen ensimmäistä luokkaa. Tutkimustoiminnan kehittäminen ja toteuttaminen ei vaikuta ainoastaan luokkatasolla, vaan se edistää myös yhtenäisen peruskoulun periaatteen toteutumista käytännössä.

Tässä luvussa esitellään alakoulun sähköoppi POPSin (2004) mukaan, tutkiva oppiminen ja avoin tutkimus opetusmenetelminä ja lopuksi tutustutaan sähköopin käsitteisiin, arkikäsitteiden muodostumiseen sekä sähköopin yleisiin virhekesityksiin.

## **2.1 Sähköoppi alakoulun opetussuunnitelmassa**

Ensimmäisestä luokasta alkaen oppilaat pääsevät tutustumaan kestäväns kehityksen näkökulmasta ympäristö- ja luonnontietoon, joka pitää sisällään useita tieteenaloja kuten biologiaa, maantietoa, fysiikkaa, kemiaa ja terveystietoa. Opetuksen tavoitteena on luonnon, rakennetun ympäristön, itsensä ja muiden ihmisten tunteminen ja ymmärtäminen. Tavoitteisiin kuuluvat myös muun muassa turvallinen työskentely, tiedon hankkiminen luonnosta havainnoimalla eri aisteilla, tutkimalla ja välineitä sekä lähdeaineistoja käyttämällä, luonnontieteellisten kokeiden tekeminen ja tiedon esittäminen. Ympäristö- ja luonnontiedon opetus pyrkii tutkivaan ja ongelmakeskeiseen lähestymistapaan, joiden lähtökohdat ovat sidoksissa oppilaaseen hänen omien kokemustensa kautta. (POPS, 2004)

Vuonna 2004 käyttöön otetussa opetussuunnitelmassa alakoulujen vuosiluokilla 1–4 ei siis ole erikseen fysiikan oppiainetta, vaan fysiikka ja kemia tulevat erillisiksi opetettaviksi aineiksi vasta 5–6-vuosiluokille. Ympäristö- ja luonnontieteessä fysiikkaa tulee esille *Ympäristön ilmiöitä* ja *Ympäristön aineita* -sisällöissä, joista ensimmäinen pitää sisällään sähköisiä ilmiöitä. POPS (2004) on myös määrittänyt, mikä on



oppilaiden 4. luokan jälkeen hyvän osaamisen taso. Yleisesti koko luonnontieteelliseen hyvään osaamiseen kuuluu, että oppilas osaa tehdä havaintoja eri aisteilla ja tunnistaa havaintojensa olennaiset piirteet. POPSissa (2004) erityisesti sähköoppiin liittyvistä hyvän osaamisen tason piirteistä olennaisimpia ovat yksinkertaisen suljetun virtapiirin rakentaminen pariston, johtojen ja lampun avulla sekä sähköön liittyvien vaarojen ymmärtäminen. Vuosiluokilla 1–4 oppilaiden ei tarvitse vielä syvällisesti ymmärtää sähkön luonnetta eikä sähköopin käsitteitä vaan enemmänkin tutustua tutkimusmenetelmiin ja arkielämään heijastuvaan tietoon, joka pohjautuu luonnonilmiöistä saatuihin havaintoihin ja kokemuksiin. Vasta seitsemännellä luokalla aletaan fysiikkaa käsitellä vähitellen pintaa syvemmillä. Tutkimuksella, kokeiluilla ja havainnoinnilla on siis merkittävä rooli ympäristö- ja luonnontieteen opetuksessa. Tätä varten on kehitelty useita erilaisia tutkimukseen pohjautuvia opetusmenetelmiä, ja tässä tutkielmassa esitellään yksi hyvin laaja menetelmä: tutkiva oppiminen.

## 2.2 Tutkiva oppiminen

Tieteellisellä tutkimuksella viitataan monipuolisiin tapoihin tutkia luontoa ja selittää luonnonilmiöitä tutkimuksen avulla saaduista todisteista. Tutkimusprosessi on itsessään monipuolinen. Se sisältää havaintojen tekemistä, kysymysten asettamista, tiedon etsimistä eri lähteistä, saatujen todisteiden käsittelemistä aikaisempiin tietoihin pohjaten, tiedon keräämistä, analysointia ja tulkitsemista välineiden avulla, vastausten ehdotusta, selitysten antamista, ennustuksia ja tulosten jakamista. (NRC, 1996)

**Tutkiva oppiminen** on pedagoginen malli, joka pyrkii pois perinteisestä opettamisen mallista. Oppiminen lähtee liikkeelle ongelmasta, jota lähdetään ratkaisemaan myöhemmin kuvatun prosessin lailla. Tavoitteena on ohjata oppilaita jakamaan omaa asiantuntijuuttaan muiden oppilaiden kanssa sosiaalisessa vuorovaikutuksessa ja tätä kautta rakentamaan uusia ajatuksia (Hakkarainen;Lonka;& Lipponen, 2000). Tutkiva oppiminen on oppilaskeskeistä, jossa oppilaat toimivat aktiivisina omien tulkintojen tekijöinä. Oppilaat keräävät tietoa ja kehittävät sekä sitä että tieteellisten ajattelun ymmärtämistä (NRC, 1996). Tällä pyritään ohjaamaan oppilaita pääsemään mahdollisimman lähelle asiantuntijoiden menetelmiä ja ymmärtämään paremmin tieteellistä ajattelua. Vaikka tutkiva oppiminen painottaa oppilaskeskeiseen oppimiseen, opettajan rooli on edelleen hyvin merkittävä. Opettaja toimii ohjaajana, joka auttaa oppilaita ja opiskelijoita saavuttamaan merkittävää edistystä prosessissa antamalla

valmiita vastauksia (Hakkarainen;Lonka;& Lipponen, 2000). Anderson (2002) on artikkelissaan jakanut perinteisen opetustyylin ja uuden, tutkivan oppimisen, omiin suuntauksiinsa taulukossa 1.

*Taulukko 1: Perinteisen ja uuden pedagogiikan suuntaukset Andersonin (2002) mukaan.*

	<b>VANHA SUUNTAUS</b>	<b>UUSI SUUNTAUS</b>
<b>Opettajan rooli</b>	<b>Tiedonjakaja</b> Siirtää tietoa	<b>Ohjaaja ja auttaja</b> Auttaa oppilaita tiedon prosessoinnissa
	Kommunikoi yksilöiden kanssa	Kommunikoi ryhmien kanssa
	Ohjaa oppilaiden toimintoja	Valmentaa oppilaiden toimintoja
	Selittää käsitteelliset yhteydet	Auttaa oppilaiden ajattelua
	Opettajien tieto on staattista	Mallintaa oppimisprosesseja
	Tekstikirjojen yms. suora käyttö	Materiaalien joustava käyttö
<b>Oppilaiden rooli</b>	<b>Passiivinen vastaanottaja</b> Tallentaa opettajan tiedon	<b>Itsestään ohjautuva oppija</b> Informaation prosessointi
	Laittaa tiedon muistiin	Tulkitsee, selittää, tekee hypoteeseja
	Seuraa opettajan ohjeita	Suunnittelevat omat toiminnot
	Opettaja on asiantuntija	Jakaa asiantuntevuuttaan vastauksiin
<b>Oppilastyöt</b>	<b>Opettajan ennalta suunnittelemat toimet</b> Työohjeiden täyttäminen	<b>Oppilaskeskeinen oppiminen</b> Ohjaa omaa oppimistaan
	Kaikki oppilaat suorittavat samat tehtävät	Tehtävät vaihtelevat oppilaittain
	Opettaja ohjaa tehtäviä	Suunnittelevat ja ohjaavat omat toiminnot
	Oikealla olevien asioiden puuttuminen ->	Korostaa päättelyn, lukemisen ja kirjoittamisen merkitystä ongelmanratkaisuun, olemassa olevien kognitiivisten rakenteiden rakentamiseen ja monimutkaisten ongelmien selittämiseen

Taulukosta 1 nähdään perinteisen opetuksen olevan hyvin vahvasti opettajakeskeinen, kun taas uusi korostaa oppilaskeskeistä oppimista. Opettajan rooli uudessa

suuntauksessa nähdään edelleenkin merkittävänä, vaikka oppiminen tapahtuu enimmäkseen oppilaassa itsessään.

Hakkaraisen, Lonkan ja Lipposen (2000) mukaan tutkivan oppimisen keskeiset osatekijät ovat:

1. Kontekstin luominen ja opetuksen ankkuroiminen
2. Tutkimusongelmien asettaminen
3. Työskentelyteorian luominen
4. Kriittinen arviointi
5. Syventävän tiedon hankkiminen
6. Tarkentuvan ongelman asettaminen
7. Uuden työskentelyteorian luominen
8. Jaettu asiantuntijuus

Seuraavaksi käsitellään tarkemmin, mitä nämä osatekijät sisältävät. Aluksi luodaan konteksti, jossa ilmenee ratkaistava ongelma. Ongelma ankkuroidaan oppilaiden aikaisempiin kokemuksiin tai tietoihin. Tavoitteena ei ole sulauttaa uutta tietoa vanhaan vaan lähteä rakentamaan tietoa vanhojen tietojen yhteyteen ratkaisemalla tieto-ongelmia ja luomalla teorioita ja mahdollisia selityksiä. Tutkimuksen edetessä oppilaat tekevät omia tulkintoja ja luovat sekä ulkoistavat työskentelyteorioita kohtaamistaan ilmiöistä. He reflektivat jatkuvasti edistymistään, arvioivat kriittisesti menetelmiään ja teorioitaan ja pohtivat tarvittavia muutoksia sekä kehityksiä. Oppilaiden omien teorioiden valmistuttua uuden tiedon rakentamisessa on tärkeää etsiä eri lähteistä tarvittavia tietoja luotujen teorioiden testaamiseksi ja varmistamiseksi. Oppilaat voivat jakaa toisilleen tutkimusprosessinsa etenemisessä tuotetut tiedot missä tahansa prosessin vaiheessa. Tällä pyritään sekä vuorovaikutukselliseen oppimiseen että saamaan oppilaat hyödyntämään muiden kehittämiä tehokkaita ja käytännöllisiä menetelmiä. Jokaisessa vaiheessa on tärkeää, että oppilas luo itse mutkikkaampia työskentelyteorioita ja on valmis luopumaan omista arkikäsitteistään. Oppilaan tulisi myös löytää tutkimuskohteeseen liittyvien ilmiöiden selittämisen ja ymmärtämisen kannalta merkittäviä käsitteitä, malleja ja viitekehyksiä. (Hakkarainen;Lonka;& Lipponen, 2000)

### **2.2.1 Avoin tutkimus**

Tutkiva oppiminen ei kuitenkaan rajoita tekemään oppimisprosessia tietyllä tavalla. Sitä voidaan varioida riippuen siitä, miten paljon vastuuta, rajoitteita tai pohjatietoa

tutkimuksen aluksi oppilaille annetaan. Avoin tutkimus on käytännönläheinen toimintamenetelmä, jossa oppilaiden vastuulla on löytää ratkaisut annettuihin ongelmiin (Hackling, 2005). Hyvin monet luonnontieteen opettajat korostavat avoimen tutkimuksen merkitystä, sillä se kehittää oppilaiden tutkimus ja ongelmanratkaisukykyä (emt.). Hegarty-Hazel (1986) on kategorisoinut avoimuustason sen mukaan, onko tutkimusongelma, välineet, menetelmä vai vastaus annettu valmiiksi. Tutkimuksen avoimuustasot on kategorisoitu taulukkoon 2.

*Taulukko 2: Tutkimuksen avoimuustaso Hegarty-Hazelin (1986) mukaan.*

<b>Taso</b>	<b>Ongelma</b>	<b>Välineet</b>	<b>Menetelmä</b>	<b>Vastaus</b>	<b>Yleisnimitys</b>
0	Annettu	Annettu	Annettu	Annettu	Verifikaatio
1	Annettu	Annettu	Annettu	Avoin	Ohjattu tutkimus (Guided inquiry)
2a	Annettu	Annettu	Avoin	Avoin	Avoin ohjattu tutkimus (Open guided inquiry)
2b	Annettu	Avoin	Avoin	Avoin	Avoin ohjattu tutkimus (Open guided inquiry)
3	Avoin	Avoin	Avoin	Avoin	Avoin tutkimus (Open inquiry)

Taulukossa alhaisimmalla 0-tasolla tutkimusongelma, välineet, menetelmä ja vastaus on annettu valmiiksi, joten oppilaiden tehtäväksi jää tutkia ja varmistaa annettu vastaus. Korkeimmalla tasolla 3 oppilaiden tulee keksiä itse tutkimusongelma ja mitä välineitä sekä menetelmiä he käyttävät. Avoimen tutkimuksen tuloksissa on havaittu hyviä puolia, mutta myös vaikeuksia. Australiassa suoritettiin tutkimus, jossa 197 yläkoulun opettajaa kokeili korkean tason (2a–3) avointa tutkimusta opetuksessa ja tarkkaili sen tuomia tuloksia. Taulukoissa 3–6 (s. 8-9) on opettajien havaitsemat avoimen tutkimuksen tuomat hyödyt ja haitat oppilaille ja opettajille.

*Taulukko 3: Opettajien havaitsemat korkeatasoisen avoimen tutkimuksen hyödyt oppilaille Staernin, Goodrumin ja Hacklingin (1998) mukaan*

<b>Hyödyt</b>	<b>Vastausten lukumäärä</b>
suurempi kiinnostus/omistautuminen/motivaatio	88
Oppilaat oppivat enemmän/ymmärtävät paremmin	84
Henkilökohtaiset kyvyt kehittyvät	67
Tieteellisten menetelmien ja suunnittelun oppiminen	41
Hyödyllinen erikoisosaamista omaaville oppilaille	37
Saavutuksen tunne/itsetunto	33
Ongelmanratkaisukyvyn kehittyminen	27
Kehittää luovuutta	27
Oikeaa tiedemiesten työtä	5
Vaihtelevuus	3

Taulukosta 3 nähdään, että hyvin monet opettajat ovat huomanneet korkean tason avoimen tutkimuksen kasvattavan oppilaiden mielenkiintoa ja motivaatiota oppimista kohtaan ja auttavan heitä ymmärtämään paremmin opittavaa asiaa.

*Taulukko 4: Opettajien havaitsemat korkeatasoisen avoimen tutkimuksen haitat oppilaille Staernin, Goodrumin ja Hacklingin (1998) mukaan*

<b>Vaikeudet</b>	<b>Vastausten lukumäärä</b>
Oppilaat eivät työskentele ilman annettuja menetelmiä	71
Vaikeaa/mahdotonta heikommille oppilaille	31
Epätarkkuus/virhekäsitykset	14
Oppilaat eivät jaa työtaakkaa	11
Aloituksen vaikeus	11
Jokin muu	10

Taulukosta 4 huomataan, että avoin tutkimus tuo mukanaan eräitä vaikeuksia. Suurin osa opettajista havaitsi, etteivät oppilaat lähde työskentelemään ilman valmiiksi annettua menetelmää, ja avoimen tutkimuksen suorittaminen on heikommille oppilaille. Kuitenkin oppilaille havaittuja hyötyjä on paljon enemmän kuin haittoja, mutta opettajille tilanne on päinvastoin.

*Taulukko 5: Opettajien havaitsemat korkeatasoisen avoimen tutkimuksen hyödyt opettajille Staernin, Goodrumin ja Hacklingin (1998) mukaan*

<b>Hyödyt</b>	<b>Vastausten lukumäärä</b>
Vähemmän oppilaiden kädestä pitämistä	26
Parempi tavoitteiden opettaminen ja saavuttaminen	22
Oppilaat ovat enemmän työn ääressä/motivoituneita	18
Henkilökohtainen työ tyydyttävämpää/palkitsevaa	16
Enemmän aikaa liikkua oppilaiden keskuudessa	14
Oppilaiden ymmärtämisen/kyvyn mittaaminen	12
Vähemmän ponnistelua ja aikaa opettajille	11
Mielenkiintoa/vaihtelua opettajille	3

Taulukon 5 perusteella eniten samankaltaisia vastauksia saadut opettajille kohdistuneet hyödyt ovat ne, että opettajan kädet ovat entistä vapaammat, he pystyvät tarkkailemaan oppilaita tarkemmin ja tavoitteet saavutetaan paremmin. Verrattuna taulukon 6 vaikeuksien määrään, hyödyt ovat aika vähäiset.

*Taulukko 6: Opettajien havaitsemat korkeatasoisen avoimen tutkimuksen vaikeudet opettajille Staernin, Goodrumin ja Hacklingin (1998) mukaan*

<b>Vaikeudet</b>	<b>Vastausten lukumäärä</b>
Opetussuunnitelma ja aika rajoittavat	99
Välineiden vaatimus	84
Käyttäytymisen hallinta/turvallisuus	74
Oppilasmäärän/kokeiden hallinta	45
Organisoinnin ja valmistelun vaatimukset	33
Oppilaat tarvitsevat enemmän apua	16
Arviointi	12
Eri valmiustasoiset oppilaat	7
Jokin muu	16

Taulukon 6 perusteella opettajat havaitsivat enemmän vaikeuksia kuin hyötyjä itselleen avoimesta tutkimuksesta. Hyvin yleisiä ovat opetussuunnitelman, ajan ja välineiden

asettamattomat rajoitteet sekä oppilasmäärän ja kokeiden hallinta. Samanlaisia vaikeuksia on esitetty myös Hacklingin (2005) teoksessa, lisäyksenä vielä se, ettei perinteisen opetuksen arvioinnissa oteta huomioon tutkimustaitojaan kehittäviä oppilaita, vain lopputuloksella on merkitystä.

Kuitenkin opetusharjoittelijoiden kohdalla on huomattu, että avoin ohjattu tutkimusympäristö auttaa heitä löytämään omat sisältötiedon ymmärtämisen rajoitteensa ja ymmärtämään kokeellisten töiden mahdollisuudet opetuksessa (Nivalainen; Asikainen; & Hirvonen, 2013). Taulukossa 7 on näkyvissä avoimuus tasoltaan 1–2:n tutkimuksen tuomat hyödyt opetusharjoittelijoille (emt.).

*Taulukko 7: Käytännön kokeen tuomat hyödyt opetusharjoittelijoille Nivalaisen, Asikaisen ja Hirvosen (2013) mukaan*

Kategoria	Lukumäärä (n=32)	%
Tulee tietoiseksi omasta tai toisten vaihtoehtoisista käsityksistä	6	19
Kehittää sisältötietoa	22	69
Tiedostaa vaikeuden muuttaa opetuksen sisältö opetustarkoitukseen	11	34
Ymmärtää käytännön kokeiden mahdollisuuksia paremmin	21	66
Vahvistaa tai muuttaa suhtautumista käytännön kokeiden tärkeyteen	17	53

Taulukossa 7 huomataan, että avoin tutkimus kehittää opetusharjoittelijoiden sisältötietoa ja ymmärrystä. Sama havaittiin myös taulukon 2 tuloksissa oppilaiden kohdalla. Tämän lisäksi avoin tutkimus kehittää suhtautumista kokeellisiin töihin, ja sitä kautta niiden käytön tärkeyteen opetuksessa. Melkein viidesosa opetusharjoittelijoista tunnisti kokeiden aikana omia ja muiden virhekäsityksiä.

On havaittu, että avoimen tutkimuksen eri avoimuustasojen hyöty vaihtelee ikäryhmästä riippuen. Esimerkiksi lukiolaisten ja yliopisto-opiskelijoiden välillä on havaittu eroja eritasoisen avoimen tutkimuksen käytössä. Sadeh ja Zion (2009) tutkivat avoimuuden vaikutusta viiteenkymmeneen lukiolaiseen, jotka valittiin neljästä eri koulusta. He huomasivat, että lukiolaisten proseduraalinen ymmärtäminen kehittyy paremmin avoimemmassa tutkimuksessa (korkea avoimuustaso, kts. taulukko 2) kuin ohjaavassa tutkimuksessa (alempi avoimuustaso). Proseduraalisella ymmärtämisellä tarkoitetaan muun muassa kykyä ymmärtää hallittavien muuttujien merkitystä ja oppia lähestymään

jokaista kysymystä eri tutkimusnäkökulmista. Chatterjee, Williamson, McCann ja Peck (2009) mainitsevat artikkelissaan havainneensa yliopisto-opiskelijoiden tapauksessa tilanteen olevan toisin. Yliopisto-opiskelijat (n=703) kokivat positiivisempaa asennetta ohjattua tutkimusta kuin avointa tutkimusta kohtaan ja uskoivat myös oppineensa enemmän ohjatussa tutkimuksessa.

Staernin, Goodrumin ja Hacklingin (1998), Nivalaisen, Asikaisen ja Hirvosen (2013), ja Sadehin ja Zionin (2009) tulosten perusteella avoimesta tutkimuksesta eniten ovat hyötäneet oppilaat ja opiskelijat, kun taas opettajille avoimen tutkimuksen järjestäminen tuo lisää työtaakkaa. Jokainen tutkimus on osoittanut avoimen tutkimuksen kasvattavan sisältötiedon ymmärtämistä jollain tasolla, oli kyseessä yläkoulun oppilas tai opettajaharjoittelija. Sadehin ja Zionin (2009) sekä Chatterjeen, Williamsonin, McCannin ja Peckin (2009) tutkimusten perusteella koulutusjärjestelmän eri asteilla on merkitystä siihen, kuinka avointa tutkimusta opetuksessa kannattaa käyttää.

Yleisesti kokeellisilla töillä on puolensa. Hacklingin (2005) mukaan alakoulun opettajien syy kokeellisten töiden järjestämiseen painottuu kielen ja yhteistyön kehittämiseen, luonnonilmiöiden konkreettiseen kokemukseen, uteliaisuuden ja luovuuden kannustukseen sekä tiedettä kohtaan motivointiin ja viihtyvyyteen. Yläkoulun opettajat korostavat myös motivoinnin merkitystä, mutta sen lisäksi myös tutkimus-, ongelmanratkaisutaitojen, tieteellisiin välineisiin pohjautuvien tekniikoiden ja käyttötaitojen kehittämiseen, tieteen luonteen ymmärtämiseen sekä käsitteelliseen kehitykseen.

## **2.3 Sähköoppi**

Sähkön käyttö on nykyään hyvin arkista ja lähes välttämätöntä, mutta sähkö itsessään ei ole yksinkertainen asia. Tässä alaluvussa esitellään tutkielmaan liittyvät sähköopin käsitteet ja oppilaiden yleisimmät virhekäsitykset sähköopista. Teoriat esitellään sanallisesti, sillä alakoulun, varsinkin alempien luokka-asteiden, oppilailla ei ole valmiuksia käyttää kaavoja teorioiden esittämiseen.

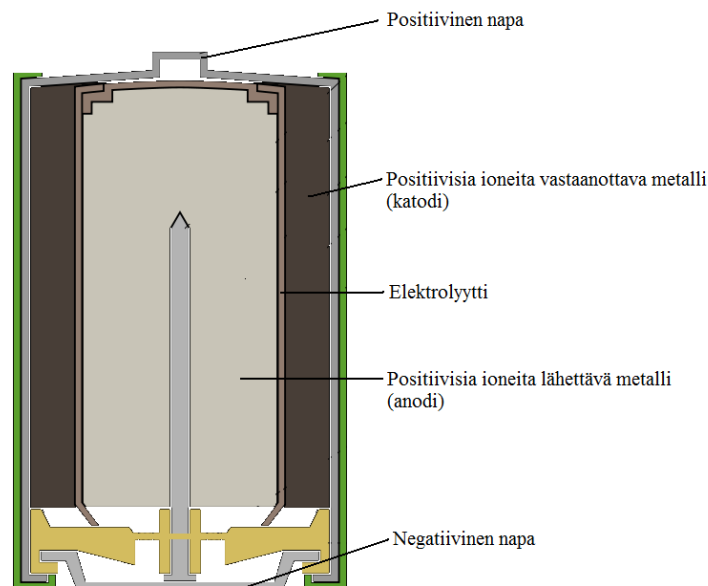
### **2.3.1 Käsitteet**

Tässä luvussa esitellään välineet, jotka oppilaille annettiin käytettäväksi opetuskokeilussa. Nämä välineet ovat paristo, folio, kuminauha ja polttimo. Esittelyn



lisäksi käsitellään niihin liittyviä sähköopillisia käsitteitä ja sitä, mikä niiden merkitys on tasavirtapiirissä. Luvun teorialähteenä on käytetty suurimmaksi osaksi Randall Knightin teosta vuodelta 2008.

Käsitellään ensin pariston merkitystä virtapiirissä ja sen toimintaperiaatetta. Paristo toimii koko systeemin jännitelähteenä. Se tuottaa sähkövirtaa virtapiiriin, kun muut virtapiirin komponentit on yhdistetty oikealla tavalla sen kahteen erimerkkiseen napaan (+/-). Tästä päästään ensimmäiseen käsitteeseen: **sähkövaraus**. Kaikki tuntemamme aineet koostuvat atomeista, jotka taas koostuvat elektroneista, neutroneista ja protoneista. Elektronit ovat alkeishiukkasia, joilla on havaittu olevan luonnostaan sähkövaraus. Elektronin sähkövaraus nimettiin alkeisvaraukseksi, ja sille annettiin negatiivinen arvo. Vastaavasti protonit ovat varaukseltaan yhtä suuria kuin elektronit mutta positiivisia. Atomeissa on yhtä paljon protoneja ja elektroneja, joten ne kumoavat toistensa sähkövarauksen. Näin ollen atomi itsessään on kokonaisvaraukseltaan neutraali. Elektronit, varsinkin uloimmat, ovat heikommin sidoksissa atomin ytimeen kuin protonit, joten ne voivat helpommin siirtyä atomista tai aineesta toiseen. Atomin kokonaisvarausta voidaan siis muuttaa, mikäli siihen tuodaan lisää tai poistetaan elektroneja. Tätä prosessia kutsutaan ionisaatioksi. Elektronien vapaa liikkuminen mahdollistaa siis aineiden sähkövarauksen muodostumisen.



**Kuva 1:** Paristo

Pariston sisällä on kaksi eri metallia, joiden välissä on elektrolyytti. Kemiallisen reaktion seurauksena metallit ionisoituvat siten, että pariston sisemmästä metallista siirtyy elektrolyytin välityksellä positiivisesti varautuneita ioneja uloimmalle metallille. Metallia, joka luovuttaa positiivisesti varautuneita ioneja, kutsutaan anodiksi, ja vastaavasti sellaista, joka vastaanottaa positiivisesti varautuneita ioneja, kutsutaan katodiksi. Näin pariston toinen napa varautuu positiivisesti (+) ja toinen negatiivisesti (-). Knight (2008) kutsuu navoilla sijaitsevia varauksia lähdevarauksiksi (source charge) erottaakseen ne varauksista, jotka liikkuvat kahden navan välillä. Kyseistä termiä ei löydy suomenkielisistä oppikirjoista.

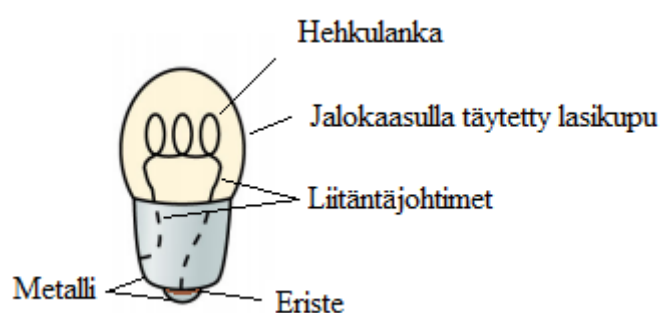
Varausten siirtäminen kahden lähdevarauksen välillä vaatii työtä ja pariston sisäinen kemiallinen reaktio tuottaa napojen välisen varauseron ylläpitämiseen tarvittavan energian. Tämä energia muuttuu lopulta varauksen **sähköiseksi potentiaalienergiaksi**, joka liittyy läheisesti seuraavaan käsiteltävään termiin, **sähköiseen potentiaaliin**. Sähköisen potentiaalin arvo riippuu normituksesta eli siitä, mikä kohta virtapiirissä valitaan nollapotentiaaliksi. Pariston tapauksessa nollapotentiaalina toimii yleisesti negatiivinen napa, koska varauksen sähköinen potentiaalienergia kasvaa varauksen siirtyessä pariston läpi negatiiviselta navalta positiiviselle. Paristossa on nyt negatiivinen napa, jonka potentiaali on nolla, ja positiivinen napa, jonka potentiaali on suurempi kuin nolla. Erisuuruiset potentiaalit muodostavat välilleen **sähköisen potentiaalieron**, joka tunnetaan oppikirjoissa paremmin **jännitteenä**. Paristojen voimakkuutta kuvataan termillä **lähdejännite**, joka on pariston napojen välinen jännite silloin, kun pariston läpi ei kulje sähkövirtaa (Eskola;Ketolainen;& Stenman, 2001; Lavonen;Kurki-Suonio;& Hakulinen, 1996). Tutkimuksessa käytettyjen paristojen lähdejännite oli 1,5 voltia.

Seuraavaksi käsitellään folion ja kuminauhan merkitystä. Aloitetaan foliosta. Kun foliopalan yhdistää pariston positiiviseen ja negatiiviseen napaan, huomataan hetken kuluttua, että foliopala alkaa kumentua. Yhdistettäessä folio pariston kahteen napaan potentiaaliero muodostuu myös folion molempiin päihin, ja tämä aiheuttaa **sähkökentän** folion sisälle. Sähkökenttä aiheuttaa positiivisen sähkövarauksen etenemisen foliota pitkin positiivisesta navasta negatiiviseen. Elektronit sen sijaan etenevät negatiivisesta navasta positiiviseen sähkökentän vaikutuksesta. Sähkökentän aiheuttama ilmiö tunnetaan **sähkövirtana**, jonka suuruuteen vaikuttavat pariston jännite ja johtimen **resistanssi**. Resistanssi on kappaleen ominaisuus, joka on riippuvainen kappaleen pituudesta, halkaisijasta ja materiaalin **resistiivisyydestä**. Resisttiivisyys on

ominaisuus, joka kuvaa materiaalin kykyä vastustaa sähkövirran kulkua. Jännite vaikuttaa sähkövirtaan seuraavasti: mitä suurempi jännite, sitä suurempi sähkövirta. Resistanssin vaikutus sähkövirtaan on päinvastainen: mitä suurempi resistanssi, sitä pienempi sähkövirta. Jännitteen ja sähkövirran välistä lineaarista riippuvuutta vakioämpötilassa kutsutaan **Ohmin laiksi**. Kun materiaali vastustaa sähkövirran kulkua, osa sähköenergiasta muuttuu lämpöenergiaksi. Tästä syystä folio kuumenee kun se yhdistetään pariston napoihin.

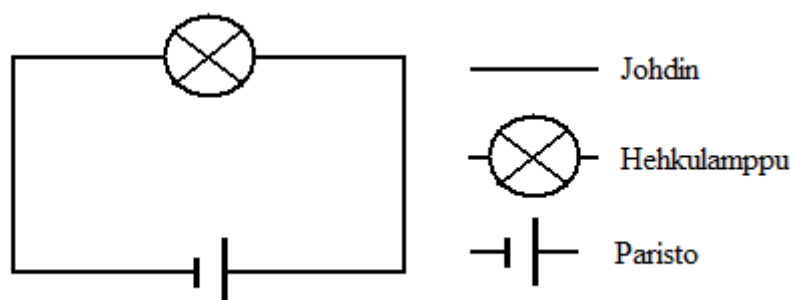
Sähkövirta kiertää pariston positiivisesta navasta foliota pitkin takaisin paristoon negatiivisen navan kautta. Kyseinen prosessi on jatkuva, ja se jatkuu niin kauan, kunnes folio irrotetaan toisesta tai molemmista navoista, tai kun pariston sisäinen kemiallinen energia loppuu. Kun folion tilalle asettaa kuminauhan, virtapiirissä ei tapahdu mitään. Syy, miksi mitään ei tapahtunut, kun folio korvataan kuminauhalla, selittyy seuraavilla käsitteillä, jotka ovat **johde** ja **eriste**. Johteet ovat materiaaleja, jotka sallivat sähkövarausten liikkumisen. Johteiden uloimmat elektronit ovat heikosti sidoksissa niiden positiivisiin ytimiin, joten ne pystyvät liikkumaan vapaasti materiaalin sisällä. Tämä sallii sähkövirran kulkemisen johteessa. Johteita ovat muun muassa hyvin monet metallit, kuten kupari ja alumiini (folio) sekä suolavesi. Eristeissä sähkövirta ei kulje, sillä niiden elektronit ovat vahvasti sidoksissa positiivisiin ytimiin, eivätkä näin ollen liiku vapaasti materiaalin sisällä. Kumi on yksi hyvä esimerkki eristeestä, ja tämän oppilaat huomasivat tutkimusta tehdessään.

Viimeisenä käsitellään polttimon tarkoitusta.



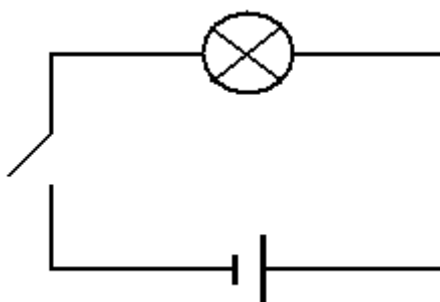
**Kuva 2:** Polttimo (Knight, 2008)

Polttimossa on kaksi erillään olevaa napaa, jotka ovat yhteydessä toisiinsa niiden läpi kulkevalla johteella sekä hehkulangalla. Polttimolle ei tapahdu mitään, jos ainoastaan polttimon toinen napa yhdistetään pariston molempiin napoihin tai pariston toisesta navasta polttimon yhteen tai molempiin napoihin. Jotta sähkövirta voisi kulkea polttimon läpi, tulee polttimon ja pariston muodostaa suljettu reitti. Tällaista systeemiä, jossa sähkövirta pääsee kulkemaan koko systeemin läpi, kutsutaan **suljetuksi virtapiiriksi**.



**Kuva 3:** Suljetun virtapiirin kytkentäkaavio

Kuvassa 3 esitetty kytkentäkaavio esittää komponenttien välisen yhteyden. Pariston positiivisen napa on yhdistetty johtimen välityksellä hehkulampun toiseen napaan, ja vastaavasti hehkulampun toinen napa on yhteydessä johtimen välityksellä pariston negatiiviseen napaan. Kytkentäkaaviot eivät esitä virtapiirien todellista kuvaa, vaan ovat enemmänkin abstrakteja kuvia. **Avoim virtapiiri** on systeemi, jossa jokin virtapiirin komponentti katkaisee napojen välisen yhteyden, eikä sähkövirta kulje lainkaan.



**Kuva 4:** Avoimen virtapiirin kytkentäkaavio

Kuvassa 4 hehkulampun ja pariston navan välinen johdin on katkaistu, mikä estää sähkövirran kiertämisen koko virtapiirissä. Kun sähkövirta saadaan kulkemaan polttimon läpi, sen sisällä oleva hyvin ohut hehkulanka kuumenee niin paljon, että se alkaa hohtaa valoa. Kun polttimon yhdistää pariston kanssa virtapiiriksi, sen resistanssi vähentää Ohmin lain mukaisesti piiriä kiertävää kokonaissähkövirtaa. Aikaisemmin todettiin, että folion yhdistäminen pariston napoihin saa folion kuumenemaan. Tällaista tilannetta, jossa suljetun virtapiirin ainoana pääasiallisena resistanssin lähteenä toimii itse jännitelähde (paristo) sisäisen resistanssinsa vuoksi ja vain pieni ulkoinen vastus, kutsutaan **oikosulukseksi** eli jännitelähde tuottaa suurimman mahdollisen sähkövirran. Oikosulkuvirta toimii siis paristojen maksimivirtarajana.

### 2.3.2 Arkikäsitteistä virheksityksiin

Jo hyvin varhaisessa vaiheessa lapset kohtaavat arkielämässään sähköön liittyviä laitteita, mutta he eivät varsinaisesti näe niiden lävitse virtaavaa sähkövirtaa. Silti he muodostavat ensimmäisestä havainnosta alkaen jonkinlaisen arkiäsitteen. Sähköopin sisällön – kuten monen muunkin oppiaiheen – selittämiseen eivät välttämättä riitä yksinkertaiset arkiäsitteet, ja pahimmassa tapauksessa arkiäsitteet voivat aiheuttaa nuorille oppilaille ja vanhemmille opiskelijoille virheksityksiä.

Ihmisille muodostuu arkiäsitteitä jo hyvin varhaisessa iässä kokemusten ja havaintojen perusteella. Tämä voi tuottaa virheitä tieteellisiin käsitteisiin, sillä niihin saatetaan liittää arkiäsitteiden ja havaintojen muodostamat käsitteet, vaikka ne olisivatkin ristiriidassa keskenään (Vosniadou, 1994). Vosniadou (1994) tulkitsee virheksitykset yksilöiden pyrkimyksiksi omaksua uutta tietoa nojautuen nykyisiin, olemassa oleviin käsitteellisiin rakenteisiin, jotka sisältävät tieteellisen näkemyksen kanssa ristiriidassa olevia tietoja. Kun lapset aloittavat koulun, he ovat jo muodostaneet jonkinlaisen käsitteen ympäröivästä maailmasta. Pine, Messer ja St. John (2001) raportoivat artikkelissaan, että 5–7-vuotiaat lapset ajattelivat sähkön olevan kappale, joka on jollain tavalla ”fyysisesti pakattu” (”Boxed”). Tämän lisäksi artikkelissa opettaja mainitsi sähkön olevan oppilaille vaikeaa, koska sitä ei voi nähdä. Tämän vuoksi on ymmärrettävää, miksi sähköopin muodostuu virheksityksiä. Todellisten mallien sijaan meidän on muodostettava mentaalisia malleja, jotka pyrkivät heijastamaan todellisuutta.

Siirrytään tarkastelemaan seuraavaksi sähköopin yleisiä virhekäsityksiä, joita on havaittu 11-vuotiaista oppilaista alkaen yliopisto-opiskelijoihin asti. Ensin kuitenkin esitellään virtapiirin toiminnan perusperiaatteet, jotta ymmärrettäisiin paremmin miksi oppilaiden mallit ovat virheellisiä. Taulukkoon 8 listatut toimintaperiaatteet on kerätty Knightin (2008) teoksesta.

*Taulukko 8: Virtapiirin toiminnan perusperiaatteet*

Toimintaperiaate	Selitys
<b>Kaksinapaisuus</b>	Pariston tai jonkin muun jännitelähteen erimerkkisten napojen on oltava yhteydessä keskenään ulkopuolisella johdemateriaalilla, jotta sähkövirta voisi edetä navasta napaan. Suljettuun virtapiiriin lisätyt komponentit tulee yhdistää samalla tavalla: toisesta navasta sisään ja toisesta ulos.
<b>Sähkövirran eteneminen</b>	Sähkövirta etenee jännitelähteen positiivisesta navasta negatiiviseen napaan
<b>Sähkövirran säilyminen</b>	Suljetussa virtapiirissä sähkövirta säilyy, eli jännitelähteen positiivisesta navasta lähtenyt sähkövirta on yhtä suuri kuin negatiiviseen napaan päätynyt sähkövirta.
<b>Sähkövirta liitoskohdissa</b>	Virtapiirin liitoskohdissa sähkövirta jakautuu siten, että jakautuneiden sähkövirtojen summa on yhtä suuri kuin ennen jakautumista olevan sähkövirran
<b>Kokonaisresistanssi</b>	jännitelähteestä ulos lähtevän sähkövirran suuruuteen vaikuttaa piirin kokonaisresistanssi: mitä suurempi piirin kokonaisresistanssi, sitä pienempi sähkövirta.
<b>Komponenttien vaikutus sähkövirtaan</b>	Kokonaisresistanssi muodostuu piirissä olevien komponenttien resistansseista (paristo mukaan lukien). Resistanssiin vaikuttaa miten komponentit on asetettu suhteessa toisiinsa (Sarjaan- ja rinnankytkentä). Yhdenkin komponentin poisto tai lisäys vaikuttaa koko piiriin.
<b>Potentiaaliero</b>	Pariston navasta toiseen napaan yhdistetyn johdemateriaalin päiden potentiaaliero on sama kuin pariston napojen välinen potentiaaliero

Taulukkoa 8 voi hyödyntää tarkasteltaessa seuraavaksi esiteltyjä yleisimpiä virhekäsityksiä. Tärkeintä on kuitenkin huomata kaksinapaisuuden merkitys, sähkövirran säilyminen ja eteneminen sekä komponenttien vaikutus piiriin, sillä näissä tapauksissa oppilailla ja opiskelijoilla on havaittu virheellisiä käsityksiä sähkömallissa. Taulukkoon 9 on kerätty artikkeleista esille tulleet yleisimmät virhekäsitykset virtapiirin mallista.

*Taulukko 9: Oppilaiden ja opiskelijoiden yleisimmät virhemallit virtapiiristä*

<b>Malli</b>	<b>Selitys</b>
<b>Yksinapaisuus</b>	Sähkövirta etenee yhdestä navasta johtoa pitkin, vaikkei se olisi yhteydessä pariston toiseen napaan.
<b>Törmäävät sähkövirrat</b>	Pariston molemmista navoista lähtee sähkövirta, jotka törmätessään aiheuttavat muun muassa lampun syttymisen.
<b>Kuluva sähkövirta</b>	Virtapiirin komponentit kuluttavat sähkövirtaa vähitellen, eli sähkövirta piirin alussa on suurempi kuin lopussa.
<b>Tasaisesti jakautuva sähkövirta</b>	Sähkövirta jakautuu tasaisesti kaikkien komponenttien kanssa riippumatta niiden asetuksesta.
<b>Sähkö virtana (Electricity as flow)</b>	“Jokin” virtaa suljetussa piirissä kuin paineistettu vesi putkistossa

Alakoulu- ja yläkouluikäisillä (12–15-vuotiailla) on havaittu vaikeuksia ymmärtää kaksinapaisuuden merkitystä. Kun oppilaille annetaan tehtäväksi polttimon sytyttäminen pariston ja johtojen avulla, monet oppilaat yrittävät saada polttimon syttymään yhdellä johdolla pariston yhdestä navasta (Arnold & Millar, 1988; Kärrqvist, 1985; Jaakkola;Nurmi;& Veermans, 2011). Yliopisto-opiskelijoillakin on havaittu samankaltaista virhekäsitystä sillä erolla, että he ovat kuitenkin ymmärtäneet yhdistää pariston navat keskenään johdolla, mutta yhdistäneet polttimon vain yhdestä navasta (McDermott & Shaffer, 1992). Sähkövirran kulkumallistakin on havaittu useita virhekäsityksiä. Ikäluokaltaan 12–18-vuotiaiden eräs virhekäsitys on sähkövarausten törmäminen virtapiirissä, eli sähkövirran ajatellaan etenevän pariston molemmista

navoista, ja lampun syttyminen virtapiirissä johtuu näiden sähkövirtojen törmäyksestä (Arnold & Millar, 1988; Kärrqvist, 1985; Shipstone, 1984; Jaakkola;Nurmi;& Veermans, 2011; Tarciso & Gilbert, 1999). Toisessa mallissa, joka ilmenee myös yliopisto-opiskelijoilla, sähkövirta kulkee vain yhteen suuntaan, mutta se heikkenee jokaisen komponentin kohdalla vähitellen (Shipstone, 1984; Kärrqvist, 1985; McDermott & Shaffer, 1992; Arnold & Millar, 1988; Jaakkola;Nurmi;& Veermans, 2011). Oppilaat ja yliopisto-opiskelijat eivät siis ajattele sähkövirran säilyvän samana sen virratessa koko piirin läpi. Kolmas malli ei myöskään huomioi sähkövirran säilyvyyttä piirissä, vaan sen mukaan sähkövirta jakautuu komponenttien kesken tasaisesti huolimatta siitä, miten komponentit asetetaan piiriin (Shipstone, 1984; Jaakkola;Nurmi;& Veermans, 2011). Näiden lisäksi Tarciso ja Gilbert (1999) esittivät 15–17-vuotiailla havaitun mentaalisen mallin sähköstä: *sähkö virtana (electricity as flow)*. Mallissa sähkövirta on ”jokin”, joka virtaa piirissä kuin vesi hydraalisessa piirissä. Tällä ”jollakin” viitataan yleensä energiaan, sähköön tai sähkövirtaan, se on jotain, mitä ei voi nähdä.

Oppilailla on vaikeuksia erottaa sähköopin termejä toisistaan. Taulukossa 10 on listattu artikkeleista löydetty yleisimmät virheet liittyen sähköopin termeihin.

*Taulukko 10: Sähköopin termeihin liittyvät vaikeudet*

<b>Termi</b>	<b>Mihin termiin sekoitetaan</b>	<b>Muita virhekäsityksiä termiin liittyen</b>
Sähkö	Sähkövirta, teho tai energia	
Sähkövirta	Energia tai jännite	Aiheuttaa jännitteen
Sähköinen Potentiaaliero	Sähköinen potentiaali	Ei säily ideaalipariston napojen välissä

Sähköllä saatetaan viitata sähkövirtaan, tehoon tai jopa energiaan (Arnold & Millar, 1988; Tarciso & Gilbert, 1999). Erityisesti yläkouluikäisten on vaikea erottaa sähkövirta ja energia toisistaan, sillä oppilaat ajattelevat energian siirtyvän johtoa pitkin tai muodostuvan johdossa komponenttien kohdalla (Kärrqvist, 1985). Tämän lisäksi 12–18-vuotiailla on havaittu vaikeuksia jännitteen ja sähkövirran erottamisessa toisistaan, ja



potentiaaliero nähdään enemmänkin sähkövirran seurauksena eikä syynä (Shipstone, 1984). Yliopisto-opiskelijoilla on huomattu olevan vaikeuksia erottaa sähköinen potentiaali ja sähköinen potentiaaliero toisistaan, ja monet eivät ymmärrä, että ideaalinen paristo säilyttää sähköisen potentiaalieron napojen välillä (McDermott & Shaffer, 1992).

Yliopisto-opiskelijoilla on havaittu olevan virtapiirin tulkitsemisessa tietynlaisia vaikeuksia. Virtapiiriä tarkasteltaessa opiskelijat eivät huomioi sitä, miten komponentit on asetettu virtapiiriin, vaan sen sijaan he tarkastelevat komponenttien määrää. He eivät siis ymmärrä sarjaan- ja rinnankytkennän vaikutuksia sähkövirtaan. On huomattu, että jotkut opiskelijoista ajattelevat sähkövirran pysyvän jatkuvasti samana eivätkä huomioi vastusten vaikutusta piirissä kulkevaan sähkövirtaan. Virtapiirin kytkentäkaavioiden tulkitseminen on myös tuottanut opiskelijoille ongelmia. Kaaviosta ei huomata, että se esittää vain komponentit ja niiden yhteydet toisiinsa, eivätkä komponenttien fyysistä sijaintia tai etäisyyttä toisistaan. (McDermott & Shaffer, 1992)

Yksinkertaiseen suljettuun virtapiiriin liittyvä opetuskokeilu suunniteltiin alakoululaisille hyödyntäen opetussuunnitelman perusteita vuodelta 2004. Sen tarkoituksena on luoda helppokäyttöinen opetuspaketti opettajille. Opetuskokeilussa oppilaille annettiin tutkimusongelma ja välineet, mutta menetelmät ja ratkaisu jätettiin avoimeksi. Hegarty-Hazelin (1986) mukaan kyseisen tutkimuksen avoimuuden taso on 2a (avoin ohjaava tutkimus). Opetuskokeilun tulosten perusteella tutkitaan avoimen tutkimuksen soveltavuutta alakoulun opetuksessa, ja kuinka sitä voidaan kehittää.

### **3.1 Opetuskokeiluun osallistuva ryhmä**

Opetuskokeilu suoritettiin eräässä Joensuun alakoulussa toukokuun loppupuolella 2014. Tutkimukseen osallistui kuusitoista neljännen luokan oppilasta, jotka jakautuivat kahdeksaan kahden hengen ryhmään. Poikia luokassa oli kuusi ja tyttöjä kymmenen. Oppilaiden aikaisemmista sähköopin kokemuksista ei ollut tietoa. Kyseisen luokan neljäs vuosi oli päättymäisillään, ja opetussuunnitelman mukaan eräs kuvaus oppilaan hyvästä osaamisesta neljännen luokan päätyttyä on, että oppilas osaa rakentaa yksinkertaisen suljetun virtapiirin lampun, johtimen ja pariston avulla.

### **3.2 Interventio**

Avoin tutkimus jaettiin kolmeen osioon, jotka suoritettiin yksi osio kerrallaan. Siirtymä seuraavaan osioon tehtiin yhtä aikaa. Nämä osiot olivat *Pysähdy ja mieti*, *Toiminnan aika*, ja *Loppupäätelmät*. Ennen kuin osioita alettiin käydä läpi, luokan edessä olevalta

pöydältä nostettiin kaikkien nähtäväksi yksi polttimo. Oppilaille esitettiin tehtävä yksinkertaisesti ja lyhyesti: sytyttäkää tämä lamppu.

### **Pysähdy ja mieti**

Ennen kuin oppilaat pääsivät tutkimaan lampun sytyttämistä, heidän piti hetken aikaa miettiä ja vastata seuraaviin kysymyksiin

1. Miten saat lampun syttymään?
2. Mitä asioita tarvitsette?
3. Mikä saa lampun syttymään?

Tarkoituksena oli saada parit pohtimaan omaa tietämystään, käsityksiään ja kokemuksiaan tehtävään liittyen, jakaa niitä parin kanssa ja tuoda ne esille paperille. Tähän osioon käytettiin aikaa noin 15 minuuttia.

### **Toiminnan aika**

Toisessa vaiheessa oppilaille esiteltiin mahdolliset välineet tehtävän suorittamiseen: 1,5-voltisia paristoja, foliorulla, kuminauhoja, tietenkin polttimoita ja rautalankaa. Rautalankaa yksikään pareista ei ehtinyt kokeilemaan.



**Kuva 5: Välineet**

Tehtävässä käytetyt välineet valittiin sen mukaan, että ne ovat helppo hankkia, edullisia tai löytyvät jokaisen kotoa. Tästä syystä johtimena käytettiin foliota. Oppilaita kehoitettiin tekemään jatkuvasti havaintoja ja kirjoittamaan ylös kaikki asiat, joita he havaitsisivatkaan tutkimuksen aikana. Tämän jälkeen parit aloittivat tutkimuksensa. Pareille annettiin vihjeitä, mikäli heillä oli vaikeuksia. Tämä osion suorittamiseen oli tarkoitus käyttää 30–45 minuuttia, mutta tehtävän suorittaminen vei reilun tunnin.

### **Loppupäätelmät**

Tutkimuksen suorittamisen jälkeen oppilaat saivat 15 minuuttia aikaa vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Mitä opit?
2. Mitä tarvitaan lampun sytyttämiseen?

Kysymyksillä pyrittiin saamaan oppilaat refleктоimaan omaa oppimistaan ja tunnistamaan oleelliset asiat tutkimuksessa. Jokainen pari kirjoitti vastauksensa ylös.

### **3.3 Aineiston kerääminen ja analyysi**

Kahdeksalta parilta kerättiin heidän tekemänsä muistiinpanot, jotka sisälsivät alkukyselyn vastaukset, kokeilun havainnot ja loppupäätelmät. Näitä muistiinpanoja analysoitiin sisällönanalyysimenetelmällä, eli tutkittiin samankaltaisten vastausten esiintymistiheyttä, jolloin ne saatiin järjestettyä johtopäätöksen tekoa varten (Grönfors & Vilka, 2011). Jokaiselle tutkimuksen osiolla tehtiin erikseen sisällönanalyysi ja vastaukset kategorioitiin niiden antamien tulosten perusteella. Vaikka sisällönanalyysi vaikuttaa kvantitatiiviselta menetelmältä, se mahdollistaa tiedon luonteen arvioimisen, jolloin aineistoa voidaan tutkia kvalitatiivisesti (Merriam, 2014).

Pareilta kerätyt muistiinpanot litteroitiin ensin Word 2013 -ohjelmaan parikohtaisesti, jonka jälkeen vastaukset siirrettiin Excel-ohjelmaan. Vastaukset jaettiin opetuskokeilun osioiden ja niiden sisältämien kysymysten perusteella. Samaan kysymykseen liittyvät samankaltaiset vastaukset asetettiin allekkain, jolloin samankaltaisten vastausten kategoriat muodostuivat. Kategoriat nimettiin vastausten sisältöjen perusteella.

Tutkimuksessa esitettyjen kysymysten asettelu antoi oppilaille mahdollisuuden vastata hyvin laajalti. Eri parien vastauksissa ja havainnoissa löydettiin kuitenkin yhteneviä tekijöitä, joita tarkastellaan ja analysoidaan tässä luvussa.

## **4.1 Tarkastelu**

Jokaisesta osiosta löydettiin samankaltaisia vastauksia, jotka voitiin asettaa saman kategorian alle. Vastaukset esitellään osio kerrallaan.

### **Pysähdy ja mieti**

Tulosten analysoinnin jälkeen alkukyselyn vastauksista muodostui neljä merkittävää kategoriaa: maallikollinen, pinnallinen, syvälinen ja materiaallinen. Maallikollisella vastauksella tarkoitetaan hyvin arkista vastausta, josta puuttuu kokonaan tieteellinen näkökulma. Pinnallisella vastauksella viitataan vastauksen sisältävän hyvin pintapuolisen ja yksinkertaisen tieteellisen näkökulman, ja vastaavasti syvälinen viitataan vastaukseen, joka sisältää enemmän pohdittua tieteellistä näkökulmaa. Materiaalisen kategorian vastaukset korostivat nimensä mukaisesti konkreettisen välineen tarpeellisuutta. Näiden neljän kategorian lisäksi on myös viides kategoria, erikoinen, joka muodostui kahden parin vastauksista. Kyseinen kategoria esitellään ja analysoidaan tarkemmin seuraavassa alaluvussa muiden vastausten ohella. Tutkimuksen ensimmäisen osion vastausten kategoriat ja kategorian sisältämien vastauksien esiintymistiheydet ovat nähtävissä taulukossa 11 (s. 25).

Taulukko 11: Pysähdy ja mieti-osion vastausten kategoriat ja esiintymistiheydet

Pari #	Miten saat lampun syttymään?		Mitä asioita tarvitsette?			Mikä saa lampun syttymään?			
	Maallikollinen	Pinnallinen	Materiaalinen	Pinnallinen	Erikoinen	Maallikollinen	Pinnallinen	Syvällinen	Erikoinen
1	x		x					x	
2			x						
3	x								
4	x		x	x	x				x
5		x	x				x		
6		x	x			x	x		
7			x	x					
8	x			x	x			x	
<b>Yht.</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Taulukosta 11 huomataan, että osa pareista on jättänyt vastaamatta kokonaan muutamiin alkukysymyksiin kehotuksesta huolimatta.

Ensimmäiseen kysymykseen ”Miten saat lampun syttymään?” vastasi kuusi paria ja kaksi paria jätti vastaamatta. Näistä kuudesta parista neljä vastasi kysymykseen hyvin arkisella ja maallikollisella tavalla. Kyseiset vastaukset esitellään tarkemmin myöhemmin. Kaksi paria viittasi hyvin pinnallisesti lampun tarvitsevan sähköä, jotta se syttyisi. Näiden parien vastaukset olivat:

Pari 5: ”Sähköä täytyy johtaa lamppuun”

Pari 6: ”Sähköllä”

Seuraavaan kysymykseen, ”Mitä asioita tarvitsette lampun sytyttämiseen?”, vastasi seitsemän kahdeksasta parista. Vastauksissa ilmeni kolme kategoriala: materiaallinen, pinnallinen ja erikoinen. Neljän parin vastaukset olivat ainoastaan materiaalisia:

Pari 1: ”Pistorasia, energialähde, johto/kaapeli, virtakytkin”

Pari 2: *"katkaisin, itse lamppu, patteri, folio, kuminauha"*

Pari 5: *"Pattereita, rauta-/metallilankaa"*

Pari 6: *"Lampun, rautalankaa ja patterin"*

Kolmen muun parin vastaukset sisälsivät usean kategorian yhdistelmiä. Parin 4 vastaus sisälsi materiaallisen, pinnallisen ja erikoisen vastauksen:

Pari 4: *"Kiinnike, patteri, sytytin ja sähkö tai ilmapallo"*

Parin 7 vastaus oli hyvin lyhyt, puutteellinen ja sisälsi materiaallisen ja pinnallisen vastauksen:

Pari 7: *"Lanka ja sähkö"*

Parin 8 vastaus sisälsi pinnallisen ja erikoisen vastauksen:

Pari 8: *"Siihen tarvitaan sähköä ja sähkörauta."*

Vastauksen sisältämä "sähkörauta" viittaa materiaalin tarpeellisuuteen, mutta tässä tapauksessa käsitellään vastausta erikoisena.

Kolmanteen kysymykseen, *"Mikä saa lampun syttymään?"*, kolme paria jätti vastaamatta. Viiden vastanneen parin vastaukset voitiin jakaa kolmeen kategoriaan: maallikollinen, pinnallinen ja syvällinen. Pari 5 vastasi hyvin yksinkertaisesti:

Pari 5: *"Sähkö"*

Pari 6 vastasi samalla tavalla kuin edellinen pari, mutta lisäsi vielä:

Pari 6: *"Ihminen ja katkaisin."*

Parien 1 ja 8 vastaukset sisälsivät jotain hiukan syvällisempää:

Pari 1: *"Atomit hankaavat toisiaan vasten ja syntyy sähköä."*

Pari 8: *"Lampun saa syttymään sähköreaktio."*

Parin 4 erikoinen vastaus jättää tulkinnan varaan

#### Pari 4: ”Sytyttimellä tai ilman”

Sytyttimellä saatetaan mahdollisesti viitata katkaisimeen.

#### Toiminnan aika

Hyvin monella oppilaalla oli alussa vaikeuksia saada lamppu syttymään, ja yksi pari sai sen kerran syttymään vahingossa. Tästä huolimatta parit tekivät merkittäviä havaintoja, ja hyvin moni pari sai lampun syttymään saatuaan vihjeitä. Vihjeet liittyivät aluksi polttimon ja pariston kaksinapaisuuteen, mutta lopuksi kaikille pareille esitettiin kuva polttimon ja pariston yhdistämisestä sähköjohdolla. Taulukkoon 12 on kategorisoitu oppilaiden yleisimmät teot ja havainnot kokeilun aikana.

*Taulukko 12: Toiminnan aika-osion yleisimpien tekojen ja havaintojen esiintymistiheydet*

Pari #	Kääriminen	Kuumentuminen	Kaksinapaisuus	Kuminauhalla kokeilu
1	x		x	x
2	x	x		x
3	x			
4	x	x		
5			x	x
6	x			
7		x	x	
8	x	x		x
<b>YHT.</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

Kuusi paria kahdeksasta kääri pariston folioon, ja näistä neljä mainitsi folion kuumentumisen. Parit 1 ja 6 onnistuivat myös tällä tavalla saamaan lampun syttymään, mutta parilla 1 oli mielenkiintoinen teoria liittyen folioon.

Pari 1: ”Folio sisältää energiaa huomattavasti. Folio käärittynä patteriin tuottaa energiaa lamppuun”

Neljä paria mainitsi havainneensa joko lampun, folion tai pariston kuumentumisen. Pari 7 mainitsi myös termin *sähkövirta* ja teki johtopäätöksen että se lämmittää.



Pari 7: *"Tulikuuma. Lämmitän patteria. Polttaa käsiä. Sähkövirta lämmittää."*

Oppilaat onnistuivat tekemään kaksi viimeistä *Toiminnan aika* -kategoriaa, kaksinapaisuuden ja kuminauhakokeilun, kun heille oli annettu vihjeitä komponenttien kaksinapaisuudesta. Kolme paria mainitsi +- ja --napojen yhdistämisen keskenään foliolla.

Pari 1: *"- ja + päät yhdistettiin lamppuun folionauhojen avulla."*

Pari 7: *"Pitää yhdistää lankaa patteriin ja ota rautalankaa ja [Pari oli piirtänyt oikean mallisen kuvan suljetusta virtapiiristä]. Tärkeä kulkureitti, jos rikki ei toimi"*

Pari 5 osasi yhdistää pariston navat keskenään, muttei ymmärtänyt yhdistää lamppua kuin yhdestä navasta.

Pari 5: *"Sähkö johdetaan lamppuun yhdistämällä + ja - navat toisiinsa foliolla ja laitat lampun + napaan"*.

Neljä paria kokeili samaa korvaamalla folion kuminauhalla ja havaitsivat, ettei lamppu syttynyt. Kaksi kyseisistä pareista mainitsi myös, ettei kuminauha toimi, koska siinä ei ole energiaa.

Pari 1: *"Jos samaa koitetaan kuminauhalla, se ei toimi. Koska kuminauhassa ei ole mitään energiaa"*

Pari 8: *"Kuminauhassa ei ole sähköenergiaa"*

Yksi pareista mainitsi, ettei sähkövirta kulje kuminauhassa.

Pari 2: *"Kuminauhalla ei toimi. Kuminauha ei kuljeta virtaa."*

Parin 2 lause viittaa lähes suoraan teorialuvussa esitettyyn eristeen määritelmään: eristeissä sähkövirta ei kulje.

### **Loppupäätelmät**

Tutkimuksen viimeisen osion ensimmäisen kysymyksen, *"Mitä opit?"*, vastaukset voitiin jakaa neljään kategoriaan ja toisen kysymyksen, *"Mitä tarvitaan lampun sytyttämiseen?"*, kahteen kategoriaan, jotka vastaavat ensimmäisen osion kahta kategoriaa. Taulukossa 13 (s. 29) on nähtävissä vastauksien kategorioinnit

*Taulukko 13: loppupäätelmän vastauksien kategoriat ja niiden esiintymistiheyksien määrät*

Pari #	Mitä opit?				Mitä tarvitaan lampun sytyttämiseen?	
	Johde & eriste	Suljetun virtapiirin rakentaminen	Jotain sähköstä	Muu	Materiaalinen	Pinnallinen
1	x	x				x
2	x	x			x	
3	x					
4	x	x	x		x	
5	x	x	x			
6		x	x	x		
7	x		x		x	x
8	x		x			
<b>YHT.</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

Ensimmäisen kysymyksessä lähes kaikki parit, yhtä paria lukuun ottamatta, mainitsivat oppineensa sen, ettei kuminauhalla lamppu syty. Kaksi paria mainitsi sanan *johtaa* muistiinpanoissaan

Pari 3: ”*Ei toimi kuminauhalla, koska kuminauha ei johda sähköä. Folio johtaa.*”

Kaksi muuta paria mainitsi erikoisen perustelun, miksi kuminauha ei johda sähköä.

Pari 4: ”*Folio sytyttää, mutta kuminauha ei toimi. Kuminauhassa ei ole sähkölatausta*”

Pari 7 mainitsi saman perustelun kuin pari 8 edellisessä osiossa.

Pari 7: ”*Opimme että kuminauha ei voi sytyttää koska siinä ei ole sähköenergiaa*”

Viisi paria kirjoitti oppineensa kuinka lamppu sytytetään annetuilla välineillä. Yksi kyseisistä pareista ymmärsi komponenttien kaksinapaisuuden, mutta ymmärsi väärin lampun kytkennän piiriin.

Pari 4: ”*Folio katkaistiin kahteen osaan ja liitettiin patterin molempiin puoliin toinen puoli lampun lasiin ja toinen lampun alaosaan.*”

Kahden viimeisen kategorian vastaukset ovat yksinkertaisuudessaan laajoja ja tulkinnallisesti niin haasteellisia, etteivät ne oikeastaan kerro tarkalleen, mitä oppilaat ovat oppineet.

Pari 4: ” *Miten sähköä käytetään* ”

Pari 5: ” *Sähköä, metallia* ”

Pari 6: ” *Opin sähköä lisää ja sähkövirran* ”

Pari 7: ” *Sähkö ei syty ilman sähköenergiaa.* ”

Pari 8: ” *Opin että lampun sytyttämiseen tarvitaan sähköä* ”

Näiden lisäksi pari 6 vastasi

Pari 6: ” *kaikenlaista. EI MUUTA!?!* ”

Toisen kysymyksen vastaukset voidaan jakaa kategorioihin *materiaalinen* ja *pinnallinen*. Kaksi paria (2 ja 4) mainitsi, että lampun sytyttämiseen tarvittaisiin foliota ja paristo. Pari 1 vastasi lampun tarvitsevan sähköenergiaa ja sopivan lähteen. Parin 7 vastaus sisälsi raudan ja metallin sekä sähkötarpeellisuuden lampun sytyttämiseen.

Pari 7: ” *rautaa, metallia, patteri ja sähköä tarvitaan sytyttämiseen* ”.

Raudalla ja metallilla pari viittaa mahdollisesti johteiden tarpeellisuuteen.

## 4.2 Analyysit

Tässä luvussa pohditaan, kuinka avoimen tutkimuksen tuottamat tulokset vaikuttivat opetuksen laatuun. Tuloksista on koottu havaintoja tässä opetuskokeilussa tehdyn avoimen tutkimuksen vaikutuksesta opetukseen taulukkoon 14 (s. 31)

*Taulukko 14: Opetuskokeilun avoimesta tutkimuksesta tehdyt havainnot*

Havainto	Selitys
<b>Arkikäsitusten vaikutus vastauksiin ja välineiden käyttöön</b>	Oppilaat pohjasivat tiedon ja välineiden käytön arkielämän kokemuksiin.
<b>Puutteellinen tieto välineiden toimintaperiaatteista</b>	Oppilaiden ymmärrys välineiden toimintaperiaatteista ei ole itsestäänselvyys, vaikka kyseessä olisikin hyvin arkinen väline.
<b>Odottamattomat teot ja tulokset</b>	Avoimessa tutkimuksessa voi kohdata tuloksia, joita opettaja ei ottanut huomioon tai oppilas ei odottanut.
<b>Virhekäsitysten paljastuminen ja muodostuminen</b>	Oppilaat luovat tutkimuksen aikana ilmiöistä omia päätelmiä, joiden kautta virhekäsitykset tulevat esille tai muodostuvat.
<b>Vihjeiden kautta onnistumiseen</b>	Onnistuneen virtapiirin rakentamiseen päästiin lopulta opettajan antamien vihjeiden avulla.
<b>Toissijaisten ilmiöiden havaitseminen</b>	Ensisijaisen oppimistavoitteen ohella oppilaat havaitsivat muita sähköoppiin liittyviä oleellisia ilmiöitä.
<b>Triviaalit vastaukset</b>	Oppilaiden vastaukset eivät sisällä tarkkaa tietoa, mitä he ovat tienneet tai oikeastaan oppineet.

Arkikäsityksillä on ollut suuri vaikutus oppilaiden vastauksiin ja tutkimuksen suorittamiseen. Kuten Vosniadou (1994) mainitsee artikkelissaan, että arkikäsitukset ilmiöistä muodostuvat jo hyvin varhaisessa vaiheessa omien havaintojen ja kokemusten kautta. Ensimmäisen osion kysymysten vastauksiin vaikuttivat oppilaiden arkielämässä vastaan tulleet kokemukset lamppuista. Oppilaiden arkikäsitukset lampun toimivuudesta vastasivat hyvin sitä, miten lamppuja käytetään arjessa:

Pari 1: *"Kytke johto lamppuun ja pistorasiaan. Laita lamppu päälle"*

Pari 3: *"Sähkörasioista, pattereilla"*

Pari 4: *"Lampun saa syttymään kun sen laittaa päälle"*

Pari 8: *"Lamppu laitetaan pistokkeeseen".*

Oppilaat lähtivät ajattelemaan laajasti kysymystä ”*Miten saat lampun syttymään?*” sen sijaan, että keskittyisivät siihen, miten he saisivat yhden pienen irrallisen polttimon syttymään. Tutkimuksessa näkyi myös oppilaiden arkikäsitteet folion käytöstä. Kun oppilaat saivat foliopalan, he käyttivät niin kuin foliota yleensä käytetään: käärimiseen. Tämä ei ollut odotettu tulos, mutta se johti kuumentumishavaintoihin. Kyseinen havainto on hyvin oleellinen sähköturvallisuuteen liittyen. Jos oppilaille olisi annettu tavallinen johto, tulokset saattaisivat olla erilaiset.

Paristo on varsin arkinen väline, mutta sen toimintaperiaate ei ole kuitenkaan selvä oppilaille. Arnold ja Millar (1988), Kärqvist (1985), ja Jaakkola, Nurmi sekä Veermans (2011) mainitsevat artikkeleissaan oppilaiden yleiseksi ongelmaksi pariston kaksinapaisuuden merkityksen ymmärtämisen. Yksikään opetuskokeilun pareista ei osannut yhdistää pariston napoja polttimon napoihin, ja pariston navat yhdistettiin toisiinsa vahingossa, kun koko foliopala käärittiin pariston ympäri.

Avoin tutkimus tarjoaa myös mahdollisuuksia odottamattomiin tuloksiin ja tekoihin. Oppilaat päätös kääriä folio pariston ympärille oli odottamatonta. Toisaalta se tuotti havaintoja, jotka liittyvät POPSin (2004) asettamiin tavoitteisiin liittyen sähköturvallisuuteen: sähkövirta kuumentaa komponentteja.

Pari 2: ”*Folio kiedotaan patterin ympärille. Patterista tuli kuuma*”

Pari 7: ”*Tulikuuma. Lämmitän patteria. Polttaa käsiä. Sähkövirta lämmittää*”

*Pysähdy ja mieti* -osion kysymykseen, *mitä asioita tarvitset lampun sytyttämiseen*, vastanneen parin 4 vastaus tuotti hämmennystä:

Pari 4: ”*Kiinnike, patteri, sytytin ja sähkö tai ilmapallo*”.

Vastaukseen saattoi vaikuttaa se, että tunnin alussa luokanopettajan mainitsi staattiseen sähköön liittyen ilmapallon, jonka kautta pari yhdisti tämän lampun sytyttämiseen. Vastauksissa voi ilmetä myös syvällisemmin pohdittuja vastauksia. Kysymykseen ”*Mikä saa lampun syttymään?*” pari 1 vastasi:

Pari 1: ”*Atomit hankaavat toisiaan vasten ja syntyy sähköä*”

Tästä vastauksesta huomataan, että pari on pohtinut vastaustaan syvällisemmin ja pidemmälle kuin POPS (2004) vaatii. Vastauksella voidaan myös viitata hankaussähköön.

Odottamattomien tulosten lisäksi oppilaiden virhekesitykset nousivat esille tai ne muodostuivat tutkimuksen aikana. Staernin, Groodrumin ja Hacklingin (1998) artikkelissa opettajat mainitsevat erääksi avoimen tutkimuksen haittoiksi virhekesitysten muodostumisen ja saavutetun tiedon epätarkkuuden. Kolmen parin vastauksissa käytettiin energiaa selittämään sähkövirran etenemisen:

Pari 1: *"Folio sisältää **energiaa** huomattavasti. Folio käärittynä patteriin tuottaa **energiaa** lamppuun"*

*"Jos samaa koitetaan kuminauhalla, se ei toimi. Koska kuminauhassa ei ole mitään **energiaa**"*

Pari 7: *"Opimme että kuminauha ei voi sytyttää koska siinä ei ole **sähköenergiaa**"*

Pari 8: *"Kuminauhassa ei ole **sähköenergiaa**"*

Energian sekoittaminen muihin sähköön liittyviin termeihin on havaittu myös Arnoldin ja Millarin (1988), Tarciscon ja Gilbertin (1999) ja Kärrqvistin (1985) artikkeleissa. Tässä tapauksessa oppilaat ajattelevat, että johteet sisältävät (sähkö)energiaa ja eristeet eivät sisällä energiaa, joka kuljettaisi tai päästäisi sähkövirran kulkemaan sen läpi. Pari 4 mainitsi energian sijaan syyksi sähkölatauksen puutteellisuuden:

Pari 4: *"Folio sytyttää, mutta kuminauha ei toimi. Kuminauhassa ei ole **sähkölatausta**"*

Pari 8 vastasi ensimmäisen osion kysymykseen, jossa kysyttiin mitä asioita lampun sytyttämiseen tarvitaan, seuraavasti:

Pari 8: *"Siihen tarvitaan sähköä ja **sähkörautaa**"*

Sähköraudalla viitataan hyvin todennäköisesti johteisiin eli materiaaleihin, jotka sallivat sähkövirran etenemisen. Termien virheellinen käyttäminen johtuu todennäköisesti termisanaston puutteellisuudesta, sillä fysiikkaa ei POPSin (2004) mukaan käydä syvällisesti ennen yläkoulua.

Termien sekoittamisen lisäksi havaittiin muutama virheellinen käsitys suljetun virtapiirin mallista. Kaksi paria onnistui vahingossa sytyttämään lampun käärittyään pariston tai lampun folioon.

Pari 6: *"Patteri laitetaan folion sisään. Lamppu asetetaan patterin päälle. TADAA! se syttyy"*

Pari 8: *"Lamppu käärittiin foliopaperiin. Yhtäkkiä lamppu syttyi ja siitä tuli tulikuuma."*

Kummassakaan tapauksessa lampun ei pitäisi syttyä. Tämä on todennäköisesti jättänyt epätarkan ja virheellisen kuvan suljetusta virtapiiristä, joka vahvistaa teorialuvussa käsiteltyä yksinapaisuuden virhemallia. Pari 4 ymmärsi kaksinapaisuuden merkityksen, mutta ymmärsi väärin sen, mihin kohtaan lamppua folio piti yhdistää:

Pari 4: *"Folio katkaistiin kahteen osaan ja liitettiin patterin molempiin puoliin toinen puoli **lampun lasiin** ja toinen lampun alaosaan"*

Folion yhdistäminen lampun lasiin ei muodosta suljettua virtapiiriä, joten oppilaille muodostui väärä käsitys siitä, mihin kohtiin lamppua johteet tulee yhdistää.

Tutkimusongelman ratkaisu saavutettiin lopulta opettajan avulla. Tämä osoittaa taulukossa 1 esiin nostetun opettajan roolin merkityksen. Tämän lisäksi Hakkarainen, Lonka ja Lipponen (2000) mainitsevat teoksessaan opettajan roolin olevan ratkaiseva tutkivan oppimisen onnistumisessa. Kuten edellä mainittiin, oppilailla oli vaikeuksia saada lamppu syttymään. Tässä tapauksessa vihjeiden avulla oppilaat ohjattiin rakentamaan kunnollinen suljettu virtapiiri. Ilman opettajan tukea oppilaat eivät olisi onnistuneet rakentamaan suljettua virtapiiriä eikä opetuksen tavoitetta olisi saavutettu, vaikka oppilaat tekivätkin hyviä havaintoja sähkövirran aiheuttamasta komponenttien kuumentumisesta. Opetuksen ensisijaisten tavoitteiden lisäksi saavutettiin toissijaisia tavoitteita, kuten edellä mainitun sähköturvallisuusopin sekä pohjustavan tiedon johteista ja eristeistä:

Pari 2: *"Metalli johtaa sähköä, kumi ei."*

Pari 3: *"Ei toimi kuminauhalla, koska kuminauha ei johda sähköä. Folio johtaa."*

Pari 8: *"Kuminauhan avulla ei lamppu syty vaan esim. foliopaperin"*

Näitä tuloksia ei olisi saavutettu ilman konkreettisia havaintoja, joita oppilaat tekivät tutkimuksen aikana.

Opetuskokeilussa asetettujen kysymysten muotoilu antoi oppilaille mahdollisuuden vastata laajasti tai yksinkertaisesti. Varsinkin Loppupäätelmä-osion kysymyksen ”*Mitä opit?*”, vastauksista osa oli hyvin triviaaleja ja vaikeasti tulkittavissa:

Pari 4: ” *Miten sähköä käytetään* ”

Pari 5: ” *Sähköä, metallia* ”

Pari 6: ” *Opin sähköä lisää ja sähkövirran. Kaikenlaista. EI MUUTA!?!* ”

Näiden vastausten perusteella on hyvin vaikea tulkita, mitä oppilas oikeasti on oppinut. Jos tarkastellaan myös Pysähdy ja mieti -osion vastauksia kysymyksiin ”*Mitä asioita tarvitsette lampun sytyttämiseen?*” ja ”*Mikä saa lampun syttymään?*”, niin esimerkiksi parien 4, 5, 6 ja 7 vastaukset sisälsivät vastauksen ”*sähkö*”. Vastaus ei ole väärin, mutta se ei ole myöskään selittävä.



Tulokset osoittautuivat hyvin rikastuttaviksi, vaikka opetuskokeilu ei mennyt niin kuin oli tarkoitus. Oppilaiden arkikäskyksillä oli vaikutuksia alkukysymysten vastauksiin ja välineiden käyttöön. Myös oppilaiden virhekäsitteet sähköopista nousivat selvästi esille muistiinpanoissa. Näiden lisäksi tulokset antoivat ideoita siitä, kuinka avointa tutkimusta voitaisiin jatkossa parantaa.

## **5.1 Virheiden paikantaminen ja virheistä oppiminen**

Opetuskokeilu ei onnistunut täydellisesti, muttei myöskään täysin epäonnistunut. Oppilaiden tekemät havainnot tutkimuksen aikana tuottivat kaikesta eniten opetuksellisia tuloksia, kun taas loppupäätelmät jäivät tulkinnallisesti vajaiksi. On siis hyvä pohtia, mikä tutkimuksessa meni pieleen ja mitä jatkossa tulisi tehdä toisin.

*Oppilaiden aihealueen osaamista* ei testattu ennen kokeilua. Mikäli alkutesti olisi tehty oppilaille, opetuskokeilu olisi voitu muotoilla paremmin luokan tasoa vastaavaksi. Kuitenkin perusoletuksena oli se, että oppilaat olisivat osanneet rakentaa yksinkertaisen virtapiirin (POPS, 2004). Toisaalta alkutestin järjestäminen olisi vienyt lisää aikaa, jota luokanopettajilla ei välttämättä ole.

*Alku- ja loppukysymysten asettelu* antoi oppilaille mahdollisuuden vastata hyvin laajasti tai yksinkertaisesti. Oppilaiden aikaisempaa tietoa aktivoivan alkukyselyn kysymykset tulisi rajata selvästi ja samalla pitää sopivan yksinkertaisena, mikäli halutaan oppilaiden vastaavan laajemmin tai tarkemmin opetuskokeiluun liittyen. Tutkimuksen kysymykset ”Miten saat lampun syttymään?” ja ”Mitä asioita tarvitsette lampun sytyttämiseen?”

toivat kuitenkin esille oppilaiden tavan lähteä ajattelemaan asioita arkisten kokemusten kautta sen sijaan, että he keskittyisivät yhden pienen polttimon sytyttämiseen. Toisaalta kysymykset olisi voitu rajata kyseiseen pieneen polttimoon. Kysymyksen ”*Mikä saa lampun syttymään?*” tavoitteena oli saada oppilaat käyttämään luovuutta ja mielikuvitusta omien teorioiden luomiseen, mutta hyvin pieni osa lähti pohtimaan asiaa tältä kannalta. Sen sijaan suurin osa oppilaiden vastauksista oli hyvin triviaaleja, mutta lasten luovuutta ei pidä aliarvioida. Alkukysymykset voisi esittää seuraavasti:

- Miten saatte tehtävässä esitetyn lampun syttymään?  
Tarkentavia kysymyksiä:
  - Mitä teidän pitää tehdä?
  - Mitä välineitä tarvitsette?
- Selittäkää mikä aiheuttaa kyseisen lampun syttymisen?

*Mitä oppilaat oikeasti oppivat* tuli oikeastaan esille enemmän tutkimuksen aikana tehdyistä havainnoista kuin loppupäätelmistä. Loppupäätelmien perusteella on hyvin vaikea saada selville, mitä oppilaat oikeastaan oppivat. Ainoa tapa selvittää tämä olisi ollut järjestää eräänlainen lopputesti, jota luokalle ei kuitenkaan järjestetty. Kysymys ”*Mitä opit?*” on huonosti muotoiltu, sillä se antaa liian laajan vastausalueen varsinkin 4. luokan oppilaalle. Tämän sijaan loppupäätelmän kysymykset olisi voitu muotoilla useampiin tarkempiin kysymyksiin, joista osa voisi liittyä alkukysymyksiin. Näitä voivat olla esimerkiksi:

- Kuinka sait annetuilla välineillä lampun syttymään? (Suljetun virtapiirin rakentamisen kertaaminen)
- Selitä omin sanoin, miksi lamppu syttyi. (Oppilaan omat teoriat ja mahdolliset virhekesitykset)
- Mitä eroja havaitsit, kun käytit foliota tai kuminauhaa? (Johde ja eriste)
  - Mistä erot johtuvat?
- Miksi paristoa ei saa heittää tavalliseen roskakoriin? (Kuumentuminen)

*Ennakoimalla* odottamattomiin tekoihin voidaan tilanne mahdollisesti muuttaa askeleeksi kohti edistymistä. Folion käyttäminen käärimiseen arjessa on itsestäänselvyys, mutta opetuskokeilun suunnittelussa se ei tullut mieleenkään. Opetuskokeilun aikana kyseistä tilannetta ei osattu hyödyntää, mutta jälkeenpäin ajateltuna se olisi ollut loistava keino viedä tutkimusta eteenpäin. Oppilaille olisi voitu

vihjata tässä tilanteessa, että jotain tapahtuu foliossa, kun he käärivät sen pariston ympäri ja kysyä, mistä tämä johtuu. Tämän jälkeen oppilaita olisi voitu ohjata kokeilemaan eri tapoja saamaan sama ilmiö tapahtumaan ilman käärimistä.

Vaikka tutkielman opetuskokeilu ei ollut täysin onnistunut, se silti tarjosi runsaasti tietoa oppilaiden ajattelusta ja käsityksistä sekä edellä mainittuja opetuskokeilun muutoksia, joiden avulla se voidaan muuttaa tehokkaammaksi ja tavoitteita noudattaviksi.

## **5.2 Onko avoimen tutkimuksen menetelmä menetetty tapaus?**

Kaikkien muiden opetusmenetelmien tavoin avoin tutkimus on toimiva menetelmä tietyissä opetustilanteissa. Se vie paljon enemmän aikaa ja resursseja kuin tavalliset oppitunnit ja saattaa aiheuttaa virhekäsityksiä tai epätarkkuuksia, mutta se tarjoaa oppilaille mahdollisuuden luovaan ajatteluun ja oppilaskeskeiseen toimintaan.

Kokeelliset tutkimukset vaativat aikaa ja resursseja, joita kaikilla kouluilla ei ole. Tästä syystä opetuskokeilussa pyrittiin tutkimuksen suorittamiseen käyttämään pienresurssisia välineitä, kuten foliota. Se ei ainoastaan tullut edullisemmaksi, mutta tämän ansioista komponenttien kuumentuminen sähkövirran vuoksi tuli selväksi. Jälkeenpäin ajateltuna folion käyttäminen kasvattaa palovammariskejä, mutta tarjoaa mahdollisuuden ymmärtää sähköön liittyviä vaaroja paremmin.

Aika on kuitenkin edelleen ongelma. Tutkimuksen suunnittelu vie opettajalta enemmän aikaa ja toteutus voi viedä useamman opetustunnin (Hackling, 2005). Tästä syystä avointa tutkimusta ei kannata käyttää opetusmenetelmänä jatkuvasti vaan harvemmin. Luokanopettajilla on se etu, että he tuntevat oppilaansa, jolloin tarve järjestää ennakkotietotestejä häviää, ja tutkimuksessa esitettyjen kysymysten ja tavoitteiden asettelu on helpompaa.

Opetuskokeilussa nousi esille virhekäsityksiä sähköopista, kun oppilaat kirjoittivat ylös omia näkemyksiään ja teorioita ilmiöistä. Tämä helpottaa virhekäsitysten kohtaamista ja korjaamista. Sen sijaan, että oppilaat pitäisivät niitä sisällään omana tietonaan, opettajan on helpompi löytää oppilaiden käsitykset ilmiöistä muistiinpanoista. Hyvin järjestetyllä tutkimuksen jälkikäsittelyllä virhekäsitykset saadaan korjattua tai ainakin oppilas saadaan epäilemään omaa käsitystään.

Virhekäsitysten läpikäyminen vaatii luokanopettajalta aiheen syvällistä ymmärtämistä, ja täytyy muistaa, että kyseisen tutkielman kohteena on alakoulu. Alakoululaisilta ei vaadita suljetun virtapiirin ja sen komponenttien toimintaperiaatteiden ymmärtämistä, mutta tulevaisuuden kannalta varhaiset virhekäsitykset on korjattava. Termit, joita oppilaat käyttivät tässä tutkimuksessa, on hyvä selventää: suljettua virtapiiriä kiertää sähkövirta (ei energia) ja johteiden ja eristeiden tapauksessa johteet, esimerkiksi folio, kuljettavat sähkövirtaa kun taas eristeet, esimerkiksi kuminauha, eivät. Sanaa energia tulisi välttää tällaisessa tutkimuksessa termien sekoittamisen välttämiseksi.

Lopuksi voidaan siis todeta, että avoin tutkimus opetusmenetelmänä tarjoaa opettajille ja oppilaille omat haasteensa ja riskinsä, mutta se myös palkitsee onnistumisten myötä. Kun avoimen tutkimuksen suunnittelija välttelee niitä virheitä, joita tässä tutkielmassa on esitetty suoritetusta opetuskokeilussa, tutkimuksen tavoitteet saavutetaan paremmin ja se tarjoaa rikastuttavampaa sisältöä oppilaille.

### **5.3 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi**

Kuten muitakin tutkimuksia, on myös tämän tutkimuksen luotettavuutta hyvä arvioida. Luotettavuuden arvioinnissa käytetään apuna Kvalen (1996) tulkintaa haastattelututkimuksen kriteeristöä.

Tutkimuksen sisältämä opetus on rajattu POPS (2004) mukaan neljäsluokkalaisen osaamistasolle sopivaksi, joten tutkimuksen teoreettiset ennakko-oletukset ovat tämän perusteella järkevät. Tutkimuksen suunnittelua ei tehty tarpeeksi perusteellisesti, sillä tutkimuksessa tapahtui ennakoimattomia asioita, kuten aiemmin usein mainittu folion kääriminen. Itse tutkimuksessa käytetty avoin tutkimus on opetusmenetelmänä aikaisempien tutkimusten mukaan todettu hyödylliseksi. Aineisto kerättiin oppilailta, kun he olivat suorittaneet avoimen tutkimuksen. Määrällisesti aineistoa saatiin vain kahdeksalta parilta, joten ainoastaan tämän tutkimuksen tulosten perusteella ei voida tehdä yleistystä avoimen tutkimuksen toimivuudesta alakouluissa. Tämän lisäksi tulee ottaa huomioon, että kaikista kerätyistä aineistojen vastauksista ei selviä, onko vastaus parin yhdessä tekemä kompromissi vai vain toisen parin vastaus. Oppilaiden, jotka kirjoittivat parinsa kanssa erilliset muistiinpanot, vastaukset litteroitiin parikohtaisesti yhteen. Parien vastaukset sisälsivät samankaltaisia vastauksia, mutta selvästi toisen

parin muistiinpanot olivat selvemmät ja yksityiskohtaisemmat kuin toisen. Tällaisia pareja oli tutkimuksessa kaksi.

Tutkimuksen luotettavuuden arvioinnin suurin kompastuskivi on kuitenkin se, ettei vastauksia varmistettu jälkeinpäin. Ei siis testattu, mitä oppilaat oikeasti oppivat tutkimuksen aikana. Vastausten analysoimista vaikeuttivat laajasti ymmärrettävät vastaukset, jotka eivät sisältäneet spesifiä tietoa. Tutkimuksen luotettavuutta tukevat opetuskokeilun jakaminen kolmeen osaan, aineistojen järjestelmällinen litterointi, sisällönanalyysimenetelmä. Näiden avulla vastauksista löydettiin yhteisiä tekijöitä, jotka tukevat tutkimuksen tuloksia.

Lisäksi tuloksissa havaittiin, kuinka oppilaat käyttivät foliota johtimena, ja tuloksista paljastui samankaltaisia virhekäsityksiä kuin muissakin artikkeleissa on havaittu. Energian ja sähkövirran sekoittaminen toisiinsa mainittiin Arnoldin ja Millarin (1988) ja Tarcison ja Gilbertin (1999) artikkeleissa, ja vastaavasti yksinapaisuuteen liittyvät virhekäsitykset tulivat esille Jaakkolan, Nurmen ja Veermansin (2011), Kärqvistin (1985) sekä Arnoldin ja Millarin (1988) artikkeleissa. On myös hyvä huomioida, että tutkimuksen osalta tärkein osio ei ollut kuitenkaan oppilaiden kirjoittamat loppupäätelmät, vaan heidän tekemänsä havainnot opetuskokeilun aikana.

## **5.4 Kuinka tutkimusta voitaisiin jatkaa?**

Tutkimusta voitaisiin jatkaa kehittämällä opetuskokeilua edelleen. Tämän tutkielman tutkimuksella saavutettiin parannusehdotuksia opetuskokeiluun, mutta vielä ei ole kokeiltu, miten ne toimivat käytännössä. Tämän jälkeen voitaisiin varmistaa parannusehdotuksien toimivuus ja löytää uusia kehitysalueita. Opetuskokeilua voisi myös laajentaa muihin fysiikan aiheisiin ja kokeilla, miten kokeellisten töiden välineitä voisi korvata arjen välineillä.

- Anderson, R.D (2002). Reforming Science Teaching: What Research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, **13** (1), 1-12.
- Arnold, M. & Millar, R. (1988). Teaching about electric circuits: a constructivist approach. *Science education notes*, **70** (251), 149-151.
- Grönfors, M., & Vilkkä, H. (2011). Laadullisen tutkimuksen kenttätömenetelmät.
- Hackling, M. W. (2005). Working scientifically: Implementing and assessing open investigation work in science (Rev. ed.). Perth: Department of Education and Training.
- Hakkarainen, K., Lonka, K. & Lipponen, L. (2000). Tutkiva oppiminen – Älykkään toiminnan rajat ja niiden ylittäminen. WSOY.
- Hegarty-Hazel, E. (1986). Lab work SET: research information for teachers, No.1. Canberra: The Australian Council for Educational Research.
- Eskola, S.M., Ketolainen, P. & Stenman, F. (2001). Fotoni 9: kertauskurssi. Otava
- Jaakkola, T., Nurmi, S., & Veermans, K. (2011). A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts. *Journal of research in science teaching*, *48*(1), 71-93.
- Knight, R. D. (2008). Physics for scientists and engineers – A strategic approach (Second edition). San Francisco: Pearson.
- Kvale, S. (1996). InterViews – An introduction to qualitative research interviewing. Thousand Oaks: Sage Publications.

- Kärrqvist, C. (1985). The development of concept by means of dialogues centred on experiments. *Aspect of Understanding Electricity*, 73-83.
- Lavonen, J., Kurki-Suonio, K. & Hakulinen, H. (1996). Galilei 6: Sähkö. WSOY
- McDermott, L.C. & Shaffer, P.S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *Am. J. Phys*, **60** (11), 994-1002
- Merriam, S. B. (2014). Qualitative research: A guide to design and implementation. John Wiley & Sons.
- National Research Council (1996). National Science Education Standards. Washington, DC: National Academies Press.
- Nivalainen, V., Asikainen, M.A. & Hirvonen, P.E. (2013). Open Guided Laboratory in Physics Teacher Education. *Journal of Science Teacher Education*, **24** (3), 449-474.
- Pine, K., Messer, D., & St. John, K. (2001). Children's misconceptions in primary science: a survey of teachers' views. *Research in Science & Technological Education*, *19*(1), 79-96.
- POPS, Opetushallitus. (2004). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004. *Vammala: Vammalan kirjapaino*.
- Sadeh, I., & Zion, M. (2009). The development of dynamic inquiry performances within an open inquiry setting: A comparison to guided inquiry setting. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(10), 1137.
- Shipstone, D.M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, **6** (2), 185-198.
- Staer, H., Goodrum, D., & Hackling, M. (1998). High school laboratory work in Western Australia: Openness to inquiry. *Research in science education*, *28*(2), 219-228.

- Tarciso Borges, A., & Gilbert, J. K. (1999). Mental models of electricity. *International Journal of Science Education*, 21(1), 95-117.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and instruction*, 4(1), 45-69.